

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. April 2002 (04.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/26363 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B01D 61/16**, 65/08

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10342

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. September 2001 (07.09.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 1640/2000 28. September 2000 (28.09.2000) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): VA TECH WABAG GMBH [AT/AT]; Siemensstrasse 89, A-1211 Wien (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VRANITZKY, Robert [AT/AT]; Zuckerhandlgasse 69, A-1190 Wien (AT). STACHER, Christoph [AT/AT]; Innstrasse 24/5/41, A-1020 Wien (AT). FUCHS, Werner [AT/AT]; Burggasse 115/14, A-1070 Wien (AT). BAUERHANSL, Philipp [AT/AT]; Langäckergasse 16, A-2345 Brunn am Gebirge (AT).

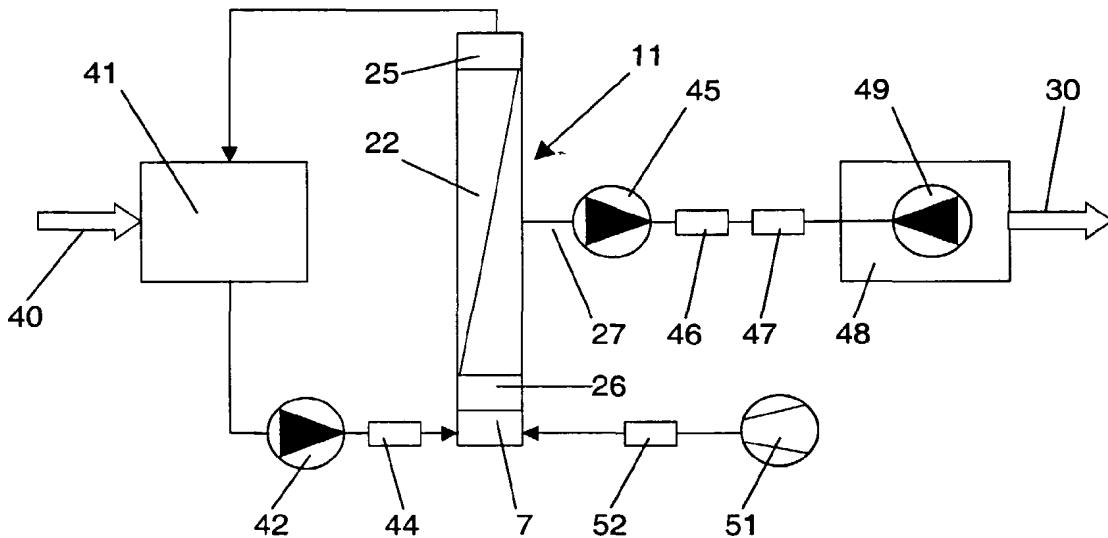
(74) Anwalt: HARRER, Dagmar; Va Tech Patente GmbH, Penzinger Strasse 76, A-1141 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEMBRANE FILTER UNIT AND METHOD FOR FILTRATION

(54) Bezeichnung: MEMBRANFILTERANLAGE UND VERFAHREN ZUM FILTERN



WO 02/26363 A2

(57) Abstract: The invention relates to a membrane filter unit for filtration of a suspension, comprising at least one container (41), for the suspension to be filtered, a device for introducing gas (7) into the suspension, a membrane filter module (11), passed in the direction of flow, arranged downstream of the gas introduction device (7), a device for draining the permeate (30), obtained by the filtration and a device, preferably a circulating pump (42), which pumps the suspension to be filtered through the membrane filter unit. The gas introduction device (7) is in the form of a throughflow, non-blocking tube gasification unit. Furthermore, the suspension (40) is gassed in such a way that the pressure difference Δp between the inlet and outlet of the membrane filter module (11), after taking into account the hydrostatic pressure of the fluid column of the suspension (40) in the membrane filter module (11), is zero. An optimal filtration capacity and a high efficiency for the filter unit can thus be guaranteed.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU,
ZA, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Gezeigt wird eine Membranfilteranlage zum Filtern einer Suspension mit zumindest einem Behälter (41) für die zu filternde Suspension, einer Vorrichtung zur Begasung (7) der Suspension, einem in Strömungsrichtung durchströmten Membranfiltermodul (11), das in Strömungsrichtung nach der Vorrichtung zur Begasung (7) angeordnet ist, einer Einrichtung zur Abfuhr des durch die Filterung gewonnenen Permeats (30), sowie einer Einrichtung, vorzugsweise eine Umwälzpumpe (42), die die zu filternde Suspension durch die Membranfilteranlage fördert, wobei die Vorrichtung zur Begasung (7) als durchströmbar, verblockungssichere Schlaubegasungseinheit agebildet ist. Es ist weiters vorgesehen, dass die Suspension (40) so begast wird, dass der Druckunterschied Δp zwischen Eintritt und Austritt des Membranfiltermoduls (11), nach Berücksichtigung des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeitssäule der Suspension (40) im Membranfiltermodul (11), gleich Null wird. Es wird hiermit eine optimale Filtrationsleistung und ein hoher Wirkungsgrad der Filteranlage gewährleistet.

Membranfilteranlage und Verfahren zum Filtern

Die Erfindung betrifft eine Membranfilteranlage zum Filtern einer Suspension mit zumindest einem Behälter für die zu filternde Suspension, einer Vorrichtung zur Begasung der Suspension, einem in Strömungsrichtung durchströmten Membranfiltermodul, das in 5 Strömungsrichtung nach der Vorrichtung zur Begasung angeordnet ist, einer Einrichtung zur Abfuhr des durch die Filterung gewonnenen Permeats, sowie einer Einrichtung, vorzugsweise eine Umwälzpumpe, die die zu filternde Suspension durch die Membranfilteranlage fördert. Weiters wird ein Verfahren zum Filtern einer Suspension in einer Membranfilteranlage bei 10 dem die zu filternde Suspension durch ein Membranfiltermodul befördert wird und vor Eintritt in den Membranfiltermodul begast wird, sowie eine entsprechende Ausführung der Membranfilteranlage geoffenbart.

In einem Membranfiltrationsprozess ist zur Vermeidung von Deckschichtbildungen auf der Membranoberfläche eine turbulente Strömung an der Membranoberfläche erforderlich. Diese turbulente Strömung wird herkömmlicherweise durch einen hohen Energieeintrag mit Hilfe 15 einer Umwälzpumpe, die das Wasser-Schlammgemisch (Suspension) durch das Membranfiltrationsmodul pumpt, realisiert. Würde man zusätzlich die Turbulenzen durch eine Begasung erhöhen, würde sich dies natürlich auf die Wirtschaftlichkeit einer solchen Membranfilteranlage auswirken, da dadurch der benötigte Energieeintrag verringert werden könnte.

20 Zu diesem Zweck wird im Membranfiltrationssystem eine Kombination von Cross-Flow Membranfiltration und Begasung der Biomasse angewendet. Das Prinzip basiert auf der Realisierung ausreichender Turbulenz entlang der Membranoberfläche, indem die zu filtrierende Suspension mit Gas vermischt wird. Die Suspension wird mittels einer Pumpe 25 dem Filtrationsmodul zugeführt, wobei Gas kurz vor dem Eingang des Membranmoduls in die Suspension eingetragen wird.

Die NL-1006390 offenbart eine Membranfilteranlage, bei welcher Membranröhren senkrecht angeordnet sind und das durchströmende Medium vor dem Eintritt in den Membranmodul mit Luft versetzt wird. Die Verteilung des eingebrachten Gemisches aus Luft und zu filternden Medium erfolgt hier durch ein Verteilblech in dem für jedes einzelne 30 Membranröhren eine Verteilöffnung vorgesehen ist, die mit dem zugehörigen Membranröhren fluchtend angeordnet sein muß. Um eine gleichmäßige Verteilung der eingebrachten Luft über den gesamten Querschnitt zu erreichen, werden die Löcher im Verteilblech speziell ausgeführt. Durch die Nutzung von Druckunterschieden wird dabei über den Querschnitt eine gleichmäßige Verteilung von Luft und Suspension über alle 35 Membranröhren erreicht. Da die Membranröhren und damit zwingenderweise auch die

Löcher im Verteilblech einen kleinen Durchmesser aufweisen, ist diese Ausführung für eine Verblockung des Verteilbleches und der Membranen anfällig.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, eine Membranfilteranlage anzugeben, bei welcher die Nachteile bekannter Vorrichtungen vermieden werden, um einen uneingeschränkten

5 Betrieb sowie eine optimale Filtrationsleistung und einen hohen Wirkungsgrad der Filteranlage gewährleisten zu können.

Die Membranfilteranlage ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Begasung als durchströmbar, verblockungssichere Schlauchbegasungseinheit ausgebildet ist.

10 Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Verteilung von Gas und Suspension über alle Membranröhren wurde ein durchströmbares Schlauchbegasungsmodul entwickelt, der für eine optimale Verteilung über den Strömungsrohrquerschnitt sowohl des Gases als auch der Suspension sorgt, wodurch in jedem Membranröhren eine ausreichende und gleiche Turbulenz realisiert wird. Darüber hinaus ist die Funktion des Schlauchbegasungsmoduls
15 durch die verblockungssichere Ausführung ständig gewährleistet. Hierdurch wird eine gleichmäßige Beaufschlagung der gesamten Membranfläche mit dem eingebrachten Gas gewährleistet. Durch die dadurch entstehende stärkere Turbulenz in den Membranröhren reicht eine niedrigere Pumpleistung um die gleiche Filtrationsleistung wie bei Systemen ohne Begasung zu erreichen, was sich direkt in einem geringeren Energieverbrauch und dadurch
20 in niedrigere Betriebskosten niederschlägt.

Als zusätzlichen Effekt kann durch das Einblasen der Luft in den Feedkanal (= ein die Suspension zuführendes Strömungsrohr) aufgrund der feinen Bläschenform und der hohen Turbulenz in den Membranröhren eine Anreicherung der zu filtrierenden Suspension mit Sauerstoff erreicht werden, so könnte im Fall von Belebtschlamm ein Teil der für die
25 Kohlenstoff- bzw. Stickstoffatmung ohnehin benötigte Sauerstoffmenge bereits durch die Filtration aufgebracht werden.

Zur einfacheren Wartbarkeit wird der Begasungsteil vorteilhaft durch einfache Klemmen, Schraubverbindungen oder über Flanschverbindungen befestigt, wodurch im eingebauten Zustand erstens ermöglicht wird, den Begasungsteil einfach zu tauschen und zweitens eine
30 einfache Zugänglichkeit zum Membranmodul sichergestellt wird.

Eine besonders einfache Ausführungsform ergibt sich, wenn die Stützrohre über den Querschnitt parallel und alle in einer Ebene angeordnet sind und entlang der suspensionsberührten Länge ein perforierter, elastischer Schlauch aufgezogen ist. Eine besonders günstige Strömungsverteilung ergibt sich, wenn die Stützrohre über den

Querschnitt symmetrisch angeordnet sind, da dann eine ganz besonders gute und regelmäßige Begasung gewährleistet ist.

In einer weiteren Ausführungsform sind die Stützrohre in der Schlauchbegasungseinheit verankert. Werden die Verankerungen der Stützrohre in der Rohrwand außerhalb des

5 Rohres angeordnet, so unterstützt man zusätzlich noch die regelmäßige Verteilung der Suspension und des Gases, da dann durch die Verankerung keine unnötigen Strömungsverluste entstehen und keine unnötigen Turbulenzen in die Strömung der Suspension eingebracht werden.

In einer weiteren Ausführungsform sind die Stützrohre mit einer Öffnung versehen, durch die

10 das Gas in den Raum zwischen Stützrohr und perforierten, elastischen Schlauch eindringen kann. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung erhält man, wenn man die Öffnung außerhalb der Wand der Schlauchbegasungseinheit anordnet, da dies die gleichmäßige Blasenverteilung über den Querschnitt unterstützt.

Um zu verhindern, dass an den Befestigungstellen des elastischen, perforierten Schlauches

15 Gas aus den Stützrohren austreten und Wasser in die Stützrohre eindringen kann, werden die Schläuche vorteilhaft gasdicht und wasserdicht auf den Stützrohren befestigt. Ganz besonders einfach erreicht man dies, indem man die Schläuche durch Schlauchschellen an den Stützrohren befestigt.

Als vorteilhaft erweist sich, wenn man die Perforation nur entlang der Strecke zwischen den

20 beiden Innenseiten der Wände der Schlauchbegasungseinheit vorsieht, da dadurch im Bereich der Verankerung der Stützrohre eine Totzone geschaffen wird, entlang der kein Gas austreten kann, wodurch die gleichmäßige Blasenverteilung über den Querschnitt unterstützt wird.

Um zu verhindern, dass an den der Gaszufuhr abgewandten Verschlusstellen der

25 Stützrohre Gas oder Wasser austreten kann, werden die Stützrohre vorteilhaft gasdicht und wasserdicht verschlossen. Ein besonders einfache Ausführungsform erhält man dazu, wenn man die Stützrohre durch gerade Einschraubverschraubungen verschließt, wodurch die Stützrohre unter anderem einfach im eingebauten Zustand gewartet werden können.

Durch eine gemeinsame Verteilerdose reicht eine Vorrichtung zur Gaszufuhr aus, um alle

30 Stützrohre über Zuleitungsschläuche gleichzeitig mit Gas zu versorgen. Eine besonders vorteilhafte Ausführung ergibt sich, wenn man als Gas Luft verwendet, da dann keine besonderen Vorkehrungen bezüglich Lagerung, Vorbereitung und Zusammensetzung des Gases getroffen werden müssen.

Um eine optimale Filtrationsleistung und einen hohen Wirkungsgrad der Filteranlage gewährleisten, ist auch das folgende Verfahren sowie die entsprechende Ausführung der Membranfilteranlage geeignet.

Das Verfahren sieht vor, dass die Suspension so begast wird, dass der Druckunterschied

5 Δp zwischen Eintritt und Austritt des Membranfiltermoduls, nach Berücksichtigung des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeitssäule der Suspension im Membranfiltermodul, gleich Null wird. Zur Ermittlung des Druckunterschieds Δp werden die Drücke am Eintritt und am Austritt des Membranfiltermoduls gemessen. Dadurch ist es möglich, die Strömung in den Membranrohren so einzustellen, das ein idealer Druckverlauf in den Membranrohren
10 erzielt wird, was sowohl die Wirkungsgrad als auch die Produktionssicherheit erhöht.

Denkbar ist auch, dass statt der Druckmessung die Viskosität der zu filternden Suspension in regelmäßigen Abständen gemessen wird und die einzubringende Gasmenge mittels einer empirisch erstellten Funktion in Abhängigkeit von Membranfiltermodulgeometrie, Filterkuchenaufbau bei unterschiedlichem Permeatmengen, und der gemessenen Viskosität
15 an die jeweilige Überströmgeschwindigkeit angepasst wird.

Zur Reinigung des Membranfiltermoduls sind mehrere Verfahren mit unterschiedlichen Vorzügen möglich. Ein erstes sehr einfach durchführbares Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass zur Reinigung des Membranfiltermoduls in periodischen Zeitabständen Permeat gegen die Produktionsrichtung durch die Membranoberfläche
20 rückgespült wird. In Verbindung mit der Begasungseinheit, kann ein weiteres sehr vorteilhaftes Reinigungsverfahren umgesetzt werden, indem zur Reinigung des Membranfiltermoduls zumindest ein getakteter Luftstoß in den Membranfiltermodul eingebracht wird und eventuell gleichzeitig bereits gewonnenes Permeat gegen die Produktionsrichtung durch die Membranoberfläche rückgespült wird. Damit erreicht man eine
25 ganz besonders gründliche Spülung der Membranrohre. Ein ebenfalls sehr gründliches Verfahren erhält man, wenn zur Reinigung des Membranfiltermoduls durch Anheben der Überströmgeschwindigkeit durch eine Rezirkulationspumpe oder durch Entspannen eines Druckkessels eine Druckwelle im Membranfiltermodul erzeugt wird und eventuell gleichzeitig bereits gewonnenes Permeat gegen die Produktionsrichtung durch die Membranoberfläche
30 rückgespült wird.

Ganz besonders vorteilhaft lassen sich die Vorzüge der einzelnen Verfahren verbinden, indem zur Reinigung des Membranfiltermoduls eine Kombination verschiedener Reinigungsverfahren verwendet wird.

Das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete Membranfiltermodul ist so ausgebildet, dass zumindest eine Druckmesseinrichtung zur Messung des Druckunterschieds Δp zwischen Eintritt und Austritt des Membranfiltermoduls anordenbar ist, und dass die Druckmesseinrichtung mit einer Steuerung der Vorrichtung zur Begasung verbundenen ist. Dies wird etwa dadurch erreicht, dass das Membranfiltermodul in axialer Richtung in zumindest drei permeatseitig abgedichtete Abschnitte, nämlich zumindest einen Filtrationsabschnitt und zumindest zwei Randabschnitte zur Druckmessung, geteilt ist und in jedem Randabschnitt zumindest eine Druckmesseinrichtung vorgesehen ist.

Eine einfache Aufteilung des Membranfiltermoduls erhält man, wenn zur Abteilung des

10 Membranfiltermoduls Lochscheiben vorgesehen sind. Dabei sind etwa zwischen den Abschnitten zwei übereinander angeordneten Lochscheiben angeordnet, deren Zwischenraum mit einem geeigneten Mittel, beispielsweise mit Kunstharz, ausgegossen ist. An den beiden Enden des Membranfiltermoduls ist je eine Lochscheibe vorgesehen und der Raum zwischen der Lochscheibe und der Stirnfläche des Membranfiltermoduls ist mit einem 15 geeigneten Mittel, beispielsweise mit Kunstharz, ausgegossen.

Für die Wartung einer Membranfilteranlage ist es vorteilhaft an allen drei Abschnitten zumindest eine Einrichtung zum Entlüften, vorzugsweise ein Lüftungsventil, vorzusehen.

Weitere Ausgestaltungen der Membranfilteranlage sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Besonders vorteilhaft lässt sich die Membranfilteranlage betreiben, wenn vor

20 dem Eintritt in das Membranfiltermodul eine Begasungseinheit angeordnet ist, die als verblockungssichere Schlauchbegasungseinheit ausgebildet ist.

Die Erfindung wird anhand der angeschlossenen Figuren 1 bis 6, die eine erfindungsgemäße Membranfilteranlage beispielhaft und schematisch darstellen, und der folgenden Beschreibungen erläutert. Es zeigen

25 Fig. 1 ein Anlagenschema einer erfindungsgemäßen Membranfilteranlage,
Fig. 2 einen Ausschnitt mit einem Membranfiltermodul und einer erfindungsgemäßen Begasungseinheit,
Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäß geteilten Membranfiltermoduls,
30 Fig. 4 eine Draufsicht einer erfindungsgemäßen Begasungseinheit mit einer Stützrohr-Ebene,
Fig. 5a und 5b die entlang der Mittenebene teilweise geschnittene Aufsicht einer Begasungseinheit, sowie eine Vergrößerung der Verankerung des Stützrohrs in der Wand der Begasungseinheit und

Fig. 6a-6c eine weitere erfindungsgemäße Begasungseinheit mit zwei Stützrohr-Ebenen.

Laminare Strömungen zeigen nach Hagen-Poiseuille einen parabelförmigen Verlauf der Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Radius des Rohrs. An der Rohrwand, also der Membranoberfläche, bildet sich eine Grenzschicht aus, innerhalb der die Strömungsgeschwindigkeit von $v = 0$ auf den vollen Wert ansteigt. Dadurch kann der Aufbau eines Filtrationskuchens an der Membranoberfläche nicht wirksam unterbunden werden. Für Newtonsche Substanzen gilt, dass die Strömung dann turbulent ist wenn die Reynoldszahl $Re > Re_{krit}$ wird. Die Überströmungsgeschwindigkeit v muß daher je nach Rohrreibungszahl λ und kinematischer Zähigkeit ν einen gewissen Wert übersteigen. In der traditionellen tubulären Filtrationstechnik wurden daher Überströmungsgeschwindigkeiten von drei bis zehn Metern pro Sekunde angewandt.

In Membranrohren 20 kommt es beim Durchtritt der Suspension durch die Membranrohre 20 aufgrund der inneren Reibungskraft zu einem Druckverlust. Bei laminarer Strömung ist

dieser für Newtonsche Substanzen nach dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz zu berechnen. Es treten dadurch am Eintritt der Membranrohre 20 höhere Drücke als am Austritt auf. Die treibende Kraft einer Filtration ist der Differenzdruck zwischen Feedseite 32 und Permeatseite 33. Dieser als Transmembrandruck bezeichnete Druck ist durch dieses physikalische Phänomen am Eintritt in das Membranrohr 20 größer als am Austritt. Dadurch resultiert am Eintritt 32 in das Membranrohr 20 ein stärkerer Filtrationsvorgang als am Austritt 33, wodurch die Membran ungleichmäßig beansprucht wird. Bei gewissen Betriebszuständen kann dies bis zu Kreislaufströmen innerhalb des Membranfiltermoduls 11 führen.

Ein Teil des am Eintritt 32 des Membranfiltermoduls 11 produzierten Permeats 50 wird durch die ungleiche Transmembrandruckverteilung im Membranfiltermoduls 11 am Austrittbereich 33 wieder rückgespült. Dies ist ökonomische höchst unrentabel und führt weiters zu übermäßiger Membranbelastung im Eintrittsbereich 32. Daraus resultierende Probleme sind Permeabilitätsverlust der Membran bzw. Verblockungen der Membranrohre 20 durch übermäßigen Filterkuchenauflauf. Kreislaufströme treten beispielsweise bei geringer Permeatproduktion über eine Membran mit guter Permeabilität auf. Oder im Fall eines Produktionsstopps bei gleichzeitiger Feedüberströmung, welcher in der Crossflow-Filtrationstechnik zum Abtragen des Filtrationskuchens verwendet werden kann. Diese Filtrationstechnik bzw. Reinigungstechnik ist aufgrund des Kreislaufstromes daher ineffizient oder gar kontraproduktiv.

Unterbricht man die Grenzschicht einer laminaren Strömung durch eine Begasung der zu filtrierenden Suspension 40 kurzfristig, wirkt sich dies auf die Wirtschaftlichkeit einer solchen Membranfilteranlage vorteilhaft aus, da dadurch keine hohen

Überströmungsgeschwindigkeiten benötigt werden und der benötigte Energieeintrag zum Erreichen der Überströmung verringert werden kann. Beim Durchwandern des Membranrohres 20 verdrängen die Gasblasen die Suspension 40 im Membranrohr 20. Bei bestimmten Verfahrensbedingungen, welche sich aus Überströmgeschwindigkeit,

5 Umgebungsdruck, Viskosität und Membranrohrdurchmesser ergeben, füllen die Gasblasen den gesamten Membranrohrdurchmesser aus. Sie werden durch die am Moduleintritt 32 eingepresste, zu filtrierende Suspension 40 durch das Membranrohr 20 geschoben und unterbrechen so den laminaren Fluss an der Membranoberfläche.

Vermindert diese Begasung in einem vertikal angeordneten Membranfiltermodul 11 das
10 hydrostatische Gewicht der zu filtrierenden Fluidsäule dermaßen, dass exakt der durch den Reibungswiderstand im Membranfiltermodul 11 entstehende Druckverlust Δp kompensiert wird, so wird eine gleichmäßige Filtration über die gesamte axiale Membranfläche möglich. Weiters wird durch diese Begasung der Feeddruck vermindert, wodurch der benötigte Energieeintrag zur Aufrechterhaltung der Überströmung verringert wird (Air-Lift Effekt).
15 Aus einem Zusammenspiel der oben beschrieben Effekte kann eine erfindungsgemäße Membranfilteranlage besonders wirtschaftlich betrieben werden.

Durch den Eintrag der Luft, einem Medium mit geringerer Dichte als die zu filtrierende Suspension 40, wird das Gewicht der Fluidsäule im Membranfiltermodul 11 reduziert. Dadurch kann der durch den Reibungsverlust verursachte Druckanstieg im Feedkanal
20 kompensiert werden. Der Reibungsverlust ist nach Hagen-Poiseuille jedoch nur für Newtonsche Substanzen zu berechnen. Für ein Dreiphasengemisch aus beispielsweise Belebtschlamm, Wasser und Luft ist dies nicht möglich. Der Reibungsverlust muss daher empirisch bestimmt werden. Er ist von Rohrdurchmesser d, Rohrlänge l, der Überströmungsgeschwindigkeit v und der Viskosität η des zu filtrierenden Medium abhängig.
25 Bis auf die Rohrlänge sind alle übrigen Einflussfaktoren während des Filtrationsprozesses veränderbar, bzw. teilweise unbekannt. Der Rohrdurchmesser d verringert sich durch den Aufbau des Filterkuchens. Die Viskosität η ist abhängig von Temperatur, Konzentration und Zusammensetzung der Suspension. Im Fall von Belebtschlamm kommen noch Faktoren wie Schlammalter, -belastung, -atmung und andere Faktoren hinzu.
30 Für den Fall einer vollständigen Kompensation des Reibungsdruckes muss der Druckabfall im Modul kontinuierlich bekannt sein. Die eingeblasenen Luftmenge wird dann so variiert, dass der Reibungsverlust durch die Verringerung des hydrostatischen Gewichts so kompensiert wird, dass gerade kein Druckverlust innerhalb des Filtrationsmodul messbar ist. Dadurch wird ein gleichmäßiger Transmembrandruck über die gesamte axiale

Membranfiltermodullänge ermöglicht, und die gesamte Memranfläche kann für die Filtration herangezogen werden.

In einer weniger aufwendigen Realisierung, kann auch auf empirisch ermittelte Wertepaare von Membranüberströmung und Luftmenge zurückgegriffen werden. Diese Funktion muss

5 jedoch unterschiedliche Viskosität, Modulgeometrie oder Permeatproduktion berücksichtigen. Veränderungen der besagten Einflussfaktoren müssen jedoch ständig durch Nachjustieren der eingeblasen Luftmenge berücksichtigt werden.

In Fig. 1 ist ein beispielhaftes Anlagenschema einer erfindungsgemäßen Membranfilteranlage dargestellt, die alle oben angeführten Effekte nutzt.

10 Die zu filternde Suspension 40 wird einem Behälter 41 entnommen und über eine Umwälzpumpe 42 der Begasungseinheit 7 zugeführt. Zwischen Umwälzpumpe 42 und Begasungseinheit 7 ist eine Durchflusssmesseinheit 11 angeordnet, die zur Ermittlung der Durchsatzmenge verwendet wird. Auf Basis der gemessenen Durchsatzmenge wird mit der Umwälzpumpe 42 eine vorgegebene Überströmung durch den Membranfiltermodul eingestellt.

15 Die Begasungseinheit 7 wird durch einen Kompressor 51 mit Luft versorgt, wobei die eingebrachte Luftmenge in Abhängigkeit des momentanen Druckunterschiedes Δp zwischen Eintritt 32 und Austritt 33 des Membranfiltermoduls 11 mittels einer Regelblende 52 eingestellt werden kann. Die von der Regelblende 52 auf $\Delta p = 0$ eingestellte Luftmenge

20 führt in dem Membranfiltermodul 11 zu ausgeglichenen Druckbedingungen, was eine gleichmäßige Filtration über die gesamte axiale Membranoberfläche ermöglicht. Ist $\Delta p > 0$ so ist der Membranfiltermodul 11 unterkompensiert und es wird mehr Luft eingebracht. Durch die Dichtedifferenz der beiden Medien wird das hydrostatische Gewicht der Fluidsäule erniedrigt und so der Reibungsdruckverlust ausgeglichen. Ist $\Delta p < 0$ so ist der

25 Membranfiltermodul 11 überkompensiert und es wird die Luftzufuhr solange reduziert bis wiederum die Vorgabe $\Delta p = 0$ erreicht ist.

Im Membranfiltermodul 11 sind sowohl am Eintritt 32 als auch am Austritt 33 nicht am Filtrationsprozess teilnehmende Abschnitte 25, 26 zum Messen des aktuellen Druckes vorgesehen. Zwischen diesen Randbereichen 25, 26 befindet sich der Filtrationsabschnitt

30 22. Das im Filtrationsabschnitt 22 gewonnene Permeat 30 wird über eine Abzugvorrichtung 27 durch eine Saugpumpe 45 und/oder einer Regelblende 46 abgezogen. Eine von dem Permeat 30 durchströmte, der Regelblende 46 nachgeschaltete, induktive Durchflusssmesseinrichtung 47 dient zur Ermittlung der Durchsatzmenge. Mit dem solchermaßen ermittelten Messwert und den Stellorganen 45 und 46 wird eine vorgegebene 35 Permeatproduktion erreicht. Aus dem Permeatpufferbehälter 48 wird überschüssig

produziertes Permeat 30 ausgangsseitig abgeleitet. Im Permeatpufferbehälter 48 befindet sich eine Rückspülspumpe 49, welche bei Bedarf Permeat 30 gegen die Produktionsrichtung zurückpresst. Dabei dient erneut die Durchflussmesseinrichtung 47 zur Ermittlung der Durchsatzmenge.

5 Das gefilterte Konzentrat wird im Anschluss an den Membranfiltermodul 11 wieder zum Behälter 41 zurückgeführt.

In Fig. 2 zeigen die Pfeile die Strömungsrichtung der Suspension 40 am Eintritt 32 und Austritt 33 des Membranfiltermoduls 11 in der Membranfilteranlage an. Hierbei gelangt die Suspension 40 durch ein erstes Strömungsrohr 8 in den Begasungsmodul 7, wo die

10 Suspension 40 mit dem über die Verteilerdose 2 zugeführten Gas begast wird. Nach der Begasung gelangt das Suspensions-Gasmisch in den Membranfiltermodul 11 und das gefilterte Konzentrat wird anschließend über ein zweites Strömungsrohr 8 abgeführt.

Der Membranfiltermodul 11 nach einer möglichen Ausführungsvariante, wie in Fig. 3 dargestellt, zeichnet sich dadurch aus, dass er eine Vielzahl parallel angeordneter Membranrohre 20 aufweist, die zu einem kompakten Membranfiltermodul 11 gebündelt werden. Der Membranfiltermodul 11 wird mittels Schraubgewinden 31 am Eintritt 32 und Austritt 33 in den Umwälzkreislauf eingefügt. Selbstverständlich sind hier auch alle anderen Möglichkeiten zum Einfügen des Membranfiltermodul 11 in den Umwälzkreislauf, wie zum Beispiel eine Klemmenverbindung 10 oder eine Flanschverbindung 3, denkbar.

20 Im Membranfiltermodul 11 findet die Fest-Flüssig-Trennung der eingangs zugeführten Suspension 40 in Permeat 30 und zurückgeföhrtes Konzentrat statt. Das durch die Membran filtrierte Permeat 30 wird im Permeatraum 21 gesammelt und kann über eine Permealeitung 27 aus dem Membranfiltermodul 11 abgezogen werden. Am oberen Ende des für die Filtration zur Verfügung stehenden Permeatraumes 21 befindet sich ein Ventil 29 mittels dessen eine Entlüftung des Permeatraumes 21 erfolgen kann.

25 Die Membranrohre 20 sind durch Lochscheiben 23 einerseits in fixe Position gewiesen und andererseits durch das Ausgießen der Räume zwischen den Scheiben mit Kunstharz 24 in drei Abschnitte, einem Filtrationsabschnitt 22 und zwei Randabschnitte 25 und 26, geteilt. In gleicher Weise ist auch die Einlass- und Auslassöffnung des Moduls mit Kunstharz 24 verschlossen. Dadurch entstehen über die Längsachse des Membranfiltermoduls 11 drei voneinander unabhängige, vollkommen dichte Abschnitte 22, 25 und 26, welche nur über die Membranrohre 20 über die Membran miteinander verbunden sind. Da nur der mittlere Filtrationsabschnitt 22 einen Permeatabzug 27 besitzt, stellt sich in den übrigen beiden Randabschnitten 25 und 26 der im Membranfiltermodul 11 herrschende Druck ein. Dieser wird mit Drucksensoren 28 gemessen und dient zur Bestimmung des Druckverlusts Δp

welcher sich aufgrund des Reibungswiderstandes der Suspension 40 beim Durchtritt durch die Membranrohre 20 ergibt. In den Randabschnitten 25 und 26 befinden sich wie auch im Filtrationsabschnitt 22 Ventile 29 zur Entlüftung.

Die Beschreibung des Membranfiltermoduls 11 ist lediglich beispielhaft und nicht

5 einschränkend. Insbesondere sind natürlich auch noch andere Methoden zur Aufteilung des Membranfiltermoduls 11 in Abschnitte denkbar und in dieser Beschreibung umfasst.

Steht ein dermaßen ausgeführtes Filtrationsmodul zur Druckmessung nicht zur Verfügung, muss in periodischen Abständen die Viskosität der zu filtrierenden Suspension 40 festgestellt werden und mittels einer empirisch erstellten Funktion, welche Modulgeometrie,

10 Filterkuchenaufbau bei unterschiedlichem Permeatflux, und Viskosität berücksichtigt die einzubringende Luftmenge an die jeweilige Überströmgeschwindigkeit angepasst werden.

Der Begasungsmodul 7 nach einer möglichen Ausführungsvariante, wie in Fig. 4, Fig. 5a und Fig. 5b dargestellt, zeichnet sich dadurch aus, dass er eine Vielzahl paralleler, in einer

Ebene, symmetrisch angeordnete Stützrohre 5 aufweist, über die entlang der

15 suspensionsberührten Länge, also der Länge zwischen den Rohrwänden des

Begasungsmoduls 7, elastische, perforierte Schläuche 16 aufgezogen und durch

Schlauchschenlen 13 an den Stützrohren befestigt sind. Wird jetzt Gas unter einem

Überdruck über die Gaszufuhr 1, der Verteilerdose 2 und den Verteilerschlüchen 4 in das Stützrohr 5 eingebracht, so tritt das Gas durch eine Öffnung 14 im Stützrohr 5 in den Raum

20 zwischen Stützrohr und elastischem, perforierten Schlauch 16 ein, wodurch sich der

Schlauch 16 ausdehnt und das Gas aus den sich öffnenden Perforationen austritt. Wird die Gaszufuhr unterbrochen, legt sich der Schlauch 16 sofort wieder an das Stützrohr an, womit die Perforationen wieder geschlossen sind. Durch diesen Mechanismus wird verhindert, dass sich die feinen Perforationen durch Schmutz verblocken, wodurch die Begasungsfunktion

25 gewährleistet bleibt.

Die Stützrohre 5 sind durch Verankerungen 6 im Begasungsmodul 7 verankert und an dem der Gaszufuhr abgewandten Ende durch gerade Einschraubverschraubungen 9 verschlossen.

Der Begasungsmodul ist entweder mittels einer Flanschverbindung 3, einer

30 Klemmenverbindung 10 oder einer Schraubverbindung 31 direkt unterhalb des Membranfiltermoduls 11 befestigt.

Der Begasungsmodul 7 nach einer weiteren möglichen Ausführungsvariante, wie in Fig. 6a bis 6c dargestellt, ist mit einer durchströmmbaren zylindrischen Ausnehmung aufgebaut und weist zwei Ebenen mit je acht parallel zueinander angeordneten Stützrohren 5 auf, wobei die

35 Stützrohre 5 unterschiedlicher Ebenen normal zueinander angeordnet sind. Gas wird pro

Ebene über eine eigene Verteilerdose 2 zugeführt. Die Verteilerdose 2 ist am Begasungsmodul 7 mittels Schrauben 61 und Flachdichtungen 62 angebracht und umschließt die Öffnungen 14 der Stützrohre 5, die hier in als Einschraubverschraubungen ausgebildeten Verankerungen 6 im Begasungsmodul 7 befestigt sind. Die Stützrohre werden am anderen Ende durch Blindstopfen 63 verschlossen. Pro Stützrohr sind drei Porenreihen vorgesehen, die in Längsrichtung der Stützrohre verlaufen und um jeweils 120° gegeneinander versetzt sind. Dabei sind eine Porenreihe an der Oberseite, welche dem Membranfiltermodul 11 zugewandt ist, und zwei Porenreihen an der Unterseite des Stützrohres angebracht. Die Poren sind 4mm breit und schlitzförmig, in einem Abstand von 15 mm zueinander angeordnet, wodurch ein geringerer Strömungswiderstand bei der Begasung bewirkt wird.

Durch die gekreuzte Anordnung der Stützrohre wird im Betrieb eine höhere Linearisierung der Strömung erzielt.

Der Begasungsmodul 7 ist hier mittels einer Klemmenverbindung am Membranfiltermodul 11 befestigt, es kann aber auch mittels einer Flanschverbindung oder einer Schraubverbindung direkt unterhalb des Membranfiltermoduls 11 befestigt sein.

Die Fig. 6b zeigt die Seitenansicht des Begasungsmoduls 7 ohne Verteilerdose 2, die Fig. 6c zeigt einen entsprechenden Schnitt durch das Begasungsmodul 7 mit montierter Verteilerdose 2 und Gaszufuhr 1. Das Begasungsmodul ist mit einer Kupplung 64 zum Verbinden mit den angrenzenden Teilen ausgestattet.

Zur Steigerung der Laufzeit und des Wirkungsgrades sind für das Filtrationsverfahren während des normalen Betriebes zweckmäßigerweise verschiedene Reinigungsprozeduren vorgesehen.

Um einen wirkungsvollen Austrag des Filterkuchens aus den Membranrohren 20 zu gewährleisten kann in periodischen Zeitabständen die Permeatproduktion unterbunden werden. Der Transmembrandruck ist in diesem Betriebszustand Null wodurch der Filterkuchen von der turbulenten Überströmung langsam von der Membranoberfläche abtragen wird. Ein Vorteil dieses Reinigungsverfahrens ist der geringe Aufwand betreffend der Energiekosten und der Anlagenkomponenten. Zusätzlich kann es als vorteilhaft angesehen werden, dass kein Permeat 30 für Spülzwecke verloren geht.

Stellt die zu filtrierende Suspension 40 einen biologischen Schlamm dar, so tendieren in diesem gewissen Gruppen von Mikroorganismen zur Ansiedlung auf den Membranoberflächen. Mittels Schleimen findet eine Anbindung an die Membranoberflächen oder in die Membranporen statt. Diese Immobilisierung führt bei dem betreffenden

5 Mikroorganismus zu einem Selektionsvorteil. Durch den Verlust von freien Membranporen geht die Membranpermeabilität zurück. Zur Aufrechterhaltung eines bestimmten Permeatfluxes muß dann der Transmembrandruck erhöht werden. Je länger die Kontaktzeit zwischen Mikroorganismus und Membranoberfläche, desto stärker findet sogenanntes biologische Fouling statt. Für einen störungsfreien Betrieb erweist es sich daher als 10 zweckmäßig, in periodischen Zeitabständen, Permeat 30 gegen die Produktionsrichtung durch die Membran zu pressen. Dadurch wird der Filterkuchen wirkungsvoll von der Membranoberfläche abgehoben und vom Rezirkulationsstrom aus den Membranröhren 20 ausgetragen.

Um den Betrieb der Vorrichtung an Durchsatzschwankungen anpassen zu können, ist

15 vorgesehen, dass eine in Abhängigkeit von der Menge der zugeführten, zu filtrierenden Suspension 40 reagierende Reinigungsprozedur vorgesehen ist. Im Falle einer massiven Beaufschlagung des Membranfiltermoduls 11 kommt es zu einer starken Anlagerung von Feststoffen auf der Membranoberfläche. Durch ungenügenden Austrag der Feststoffe aus den Membranröhren 20 kann es zu einer völligen Verschließung derselben kommen. Für 20 einen störungsfreien Betrieb der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann in einer Phase der Überproduktion die Überströmgeschwindigkeit in den Membranröhren 20 durch einen oder mehrere getaktete Luftstoße in die Eintrittsöffnung des Membranfiltermoduls 11 angehoben werden. Dieser Luftstoß, und die damit verbundene Druckwelle durch die Membranrohre 20, erweist sich als sehr effektiv um Verblockungen von Membranröhren 20 zu verhindern.

25 Aufgrund des Druckanstieges im Membranfiltermodul 11 kommt es jedoch auch zu einer kurzfristigen Permeatfluxsteigerung. Dadurch werden Feststoffe mit großem Druck in die Membranporen verfrachtet, was sich langfristig negativ auf die Permeabilität auswirkt. Mit besonderen Vorteil wird das erfindungsgemäße Verfahren des Luftstoßes daher nur bei gleichzeitigem Rückspülen von Permeat 30 durch die Membranoberfläche mittels der

30 Rückspülspumpe 49 durchgeführt. Der Filterkuchen wird dadurch gleichzeitig wirkungsvoll von der Membranoberfläche abgehoben und durch den Luftstoß aus den Membranröhren 20 ausgetragen.

In einem weiteren Reinigungsverfahren kann im Falle einer massiven Beaufschlagung der Filtereinrichtung die Überströmgeschwindigkeit in den Membranröhren 20 durch Anheben 35 der Überströmgeschwindigkeit mittels Rezirkulationspumpe oder Entspannung eines Druckkessels angehoben werden. Diese Anhebung der Überströmung und die damit

verbundene Druckwelle durch die Membranrohre 20 erweist sich ebenfalls als sehr effektiv um Verblockungen von Membranrohren 20 zu verhindern. Mit besonderen Vorteil wird das erfundungsgemäße Verfahren der kurzfristig gesteigerten Überströmgeschwindigkeit bei gleichzeitigem Rückspülen von Permeat 30 durch die Membranoberfläche mittels der

5 Rückspülspumpe 49 durchgeführt.

Für einen sehr wirkungsvollen Betrieb der erfundungsgemäßen Vorrichtung kann in Phasen der massiven Überbeanspruchung der Filtrationseinheit der Luftstoß gleichzeitig mit der Anhebung der Überströmgeschwindigkeit durch eine Druckwelle, bzw. durch eine beliebige andere Kombination von Reinigungsverfahren, durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Membranfilteranlage zum Filtern einer Suspension mit zumindest einem Behälter (41) für die zu filternde Suspension, einer Vorrichtung zur Begasung (7) der Suspension, einem in Strömungsrichtung durchströmten Membranfiltermodul (11), das in Strömungsrichtung nach 5 der Vorrichtung zur Begasung (7) angeordnet ist, einer Einrichtung zur Abfuhr des durch die Filterung gewonnenen Permeats (30), sowie einer Einrichtung, vorzugsweise eine Umwälzpumpe (42), die die zu filternde Suspension durch die Membranfilteranlage fördert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zur Begasung (7) als durchströmbare, verblockungssichere Schlauchbegasungseinheit (7) ausgebildet ist.
- 10 2. Membranfilteranlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schlauchbegasungseinheit (7) in Strömungsrichtung unmittelbar vor dem Membranfiltermodul (11) angeordnet ist, die dem Membranfiltermodul (11) zugewandte Seite der Schlauchbegasungseinheit (7) über eine lösbare Verbindung (3, 10, 31) am Membranfiltermodul (11) befestigt ist und die dem Membranfiltermodul (11) abgewandte 15 Seite der Schlauchbegasungseinheit (7) mittels lösbarer Verbindung (3, 10, 31) mit einem die Suspension zuführenden Strömungsrohr (8) verbunden ist.
3. Membranfilteranlage nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Schlauchbegasungseinheit (7) mehrere, in zumindest einer Ebene jeweils parallel angeordnete Stützrohre (5) enthalten sind, über die entlang der suspensionsberührten Länge 20 ein perforierter, elastischer Schlauch (16) aufgezogen ist.
4. Membranfilteranlage nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei Ebenen von Stützrohren (5) parallel zueinander angeordnet sind und die Stützrohre (5) einer Ebene normal zu den Stützrohren (5) der anderen Ebene angeordnet sind.

5. Membranfilteranlage nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stützrohre (5) über den Querschnitt der Schlauchbegasungseinheit (7) symmetrisch angeordnet sind.
6. Membranfilteranlage nach Anspruch 3, 4, oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die 5 Stützrohre (5) in der Schlauchbegasungseinheit (7) verankert sind.
7. Membranfilteranlage nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verankerungen (6) der Stützrohre (5) außerhalb der Schlauchbegasungseinheit (7) angeordnet sind.
8. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** 10 **dass** die Stützrohre (5) mit einer Öffnung (14) versehen sind, durch die das Gas in den Raum zwischen Stützrohr (5) und perforierten, elastischen Schlauch (16) einbringbar ist.
9. Membranfilteranlage nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung (14) unmittelbar außerhalb der Wand der Schlauchbegasungseinheit (7) angeordnet ist.
10. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet,** 15 **dass** die perforierten, elastischen Schläuche (16) jeweils an den Enden der Stützrohre (5) gasdicht und wasserdicht auf den Stützrohren (5) befestigt sind.
11. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 3 bis 10, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die perforierten, elastischen Schläuche (16) nur entlang der Strecke zwischen den beiden Innenseiten der Wände der Schlauchbegasungseinheit (7) perforiert sind.
- 20 12. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 3 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Stützrohre (5) an ihren der Gaszufuhr abgewandten Enden wasserdicht und gasdicht verschlossen sind.

13. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 3 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stützrohre durch eine gemeinsame Verteilerdose (2) und Zuleitungsschläuche (4) durch einen Kompressor (51) mit Gas, insbesondere Luft, versorgt sind.

14. Verfahren zum Filtern einer Suspension (40) in einer Membranfilteranlage, bei dem die zu filternde Suspension (40) durch ein Membranfiltermodul (11) befördert wird und vor Eintritt in den Membranfiltermodul (11) begast wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Suspension (40) so begast wird, dass der Druckunterschied Δp zwischen Eintritt (32) und Austritt (33) des Membranfiltermoduls (11), nach Berücksichtigung des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeitssäule der Suspension (40) im Membranfiltermodul (11), gleich Null wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung des Druckunterschieds Δp die Drücke am Eintritt (32) und am Austritt (33) des Membranfiltermoduls (11) gemessenen werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Reinigung des Membranfiltermoduls (11) in periodischen Zeitabständen die Permeatproduktion unterbunden wird und somit der Filterkuchen von der turbulenten Überströmung von der Membranoberfläche abgetragen wird.

17. Membranfilteranlage zum Filtern einer Suspension mit zumindest einem Behälter (41) für die zu filternde Suspension (40), einer Vorrichtung zur Begasung (7) der Suspension (40), einem in Strömungsrichtung durchströmten Membranfiltermodul (11), das in Strömungsrichtung nach der Vorrichtung zur Begasung (7) angeordnet ist, einer Einrichtung zur Abfuhr des durch die Filterung gewonnenen Permeats (30), sowie einer Einrichtung, vorzugsweise eine Umwälzpumpe (42), die die zu filternde Suspension (40) durch die Membranfilteranlage fördert, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Membranfiltermodul (11) so ausgebildet ist, dass zumindest eine Druckmesseinrichtung (28) zur Messung des Druckunterschieds Δp zwischen Eintritt (32) und Austritt (33) des Membranfiltermoduls (11)

anordnenbar ist, und dass die Druckmesseinrichtung (28) mit einer Steuerung der Vorrichtung zur Begasung (7) verbundenen ist.

18. Membranfilteranlage nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Membranfiltermodul (11) in axialer Richtung in zumindest drei permeatseitig abgedichtete Abschnitte (22, 25, 26), nämlich zumindest einen Filtrationsabschnitt (22) und zumindest zwei Randabschnitte (25, 26) zur Druckmessung, geteilt ist und in jedem Randabschnitt zumindest eine Druckmesseinrichtung (28) vorgesehen ist.
19. Membranfilteranlage nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Abteilung des Membranfiltermoduls (11) Lochscheiben (23) vorgesehen sind.
- 10 20. Membranfilteranlage nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den Abschnitten zwei übereinander angeordneten Lochscheiben (23) angeordnet sind, deren Zwischenraum mit einem geeigneten Mittel (24), beispielsweise mit Kunstharz, ausgegossen ist.
- 15 21. Membranfilteranlage nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** an den beiden Enden des Membranfiltermoduls (11) je eine Lochscheibe (23) vorgesehen ist **und dass** der Raum zwischen der Lochscheibe (23) und der Stirnfläche des Membranfiltermoduls (11) mit einem geeigneten Mittel (24), beispielsweise mit Kunstharz, ausgegossen ist.
- 20 22. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 18 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Filtrationsabschnitt (22) des Membranfiltermoduls (11) eine Abzugvorrichtung (27) zur Abfuhr des Permeats (30) vorgesehen ist.
23. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 18 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** an allen drei Abschnitten (21, 25, 26) zumindest eine Einrichtung zum Entlüften (29), vorzugsweise ein Lüftungsventil, vorgesehen ist.

24. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 18 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Begasungseinheit als verblockungssichere Schlauchbegasungseinheit (7)
ausgebildet ist.

25. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 17 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**,
5 **dass**, insbesondere vor der Schlauchbegasungseinheit (7), eine Durchflussmesseinheit (44)
für die zugeführte Suspension (40) angeordnet ist und in Abhängigkeit von der gemessenen
Durchflussmenge eine vorgegebene Überströmung im Membranfiltermodul (11) einstellbar
ist.

26. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 17 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**,
10 **dass** in der Gaszuführungseinrichtung der Schlauchbegasungseinheit (7) eine Regelblende
(52) für zugeführtes Gas, vorzugsweise Luft, angeordnet ist, mit welcher in Abhängigkeit von
den mit den Druckmesseinrichtungen (28) gemessenen Drücken die Menge des in den
Membranfiltermodul (11) eingebrachten Gases so einstellbar ist, dass sich die Druckdifferenz
zwischen Druck am Eintritt (32) und am Austritt (33) zu Null ergibt, $\Delta p = 0$.

15 27. Membranfilteranlage nach einem der Ansprüche 17 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**,
dass zur Reinigung eine Rückspülspumpe (49) angeordnet ist, mit welcher bereits
gewonnenes Permeat (30) über die Membranoberfläche in den Membranfiltermodul (11)
rückspülbar ist.

1/4

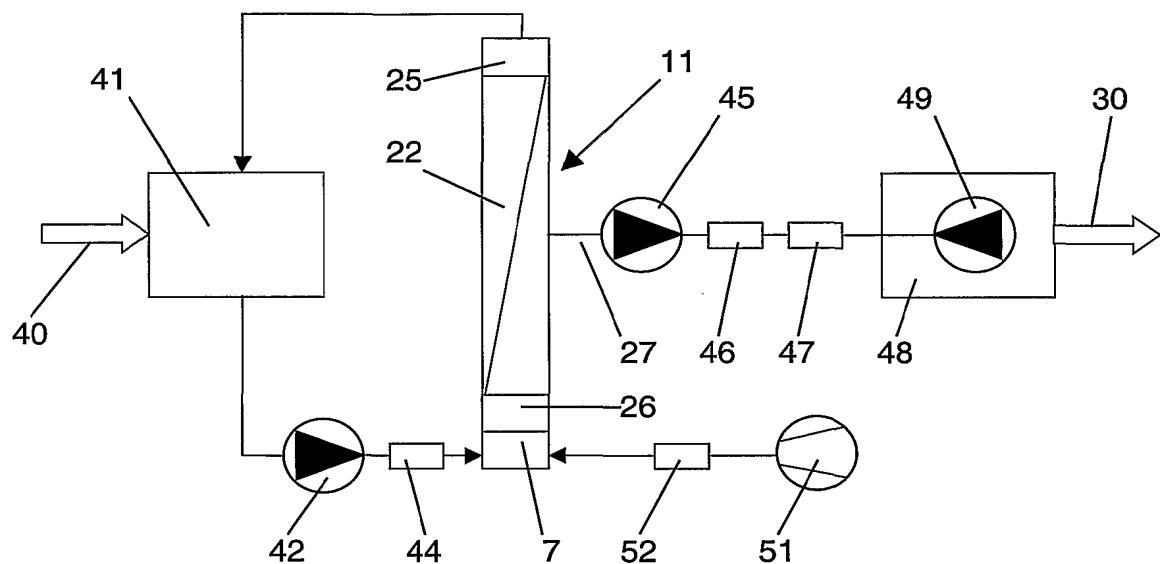


Fig. 1

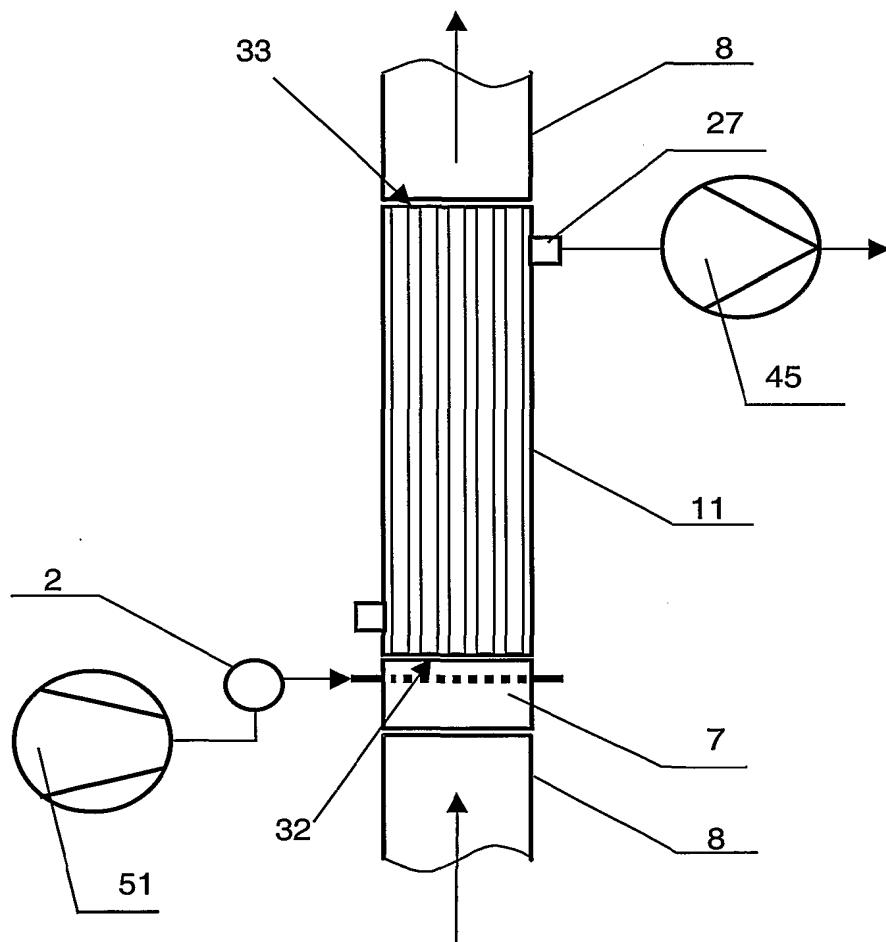


Fig. 2

2/4

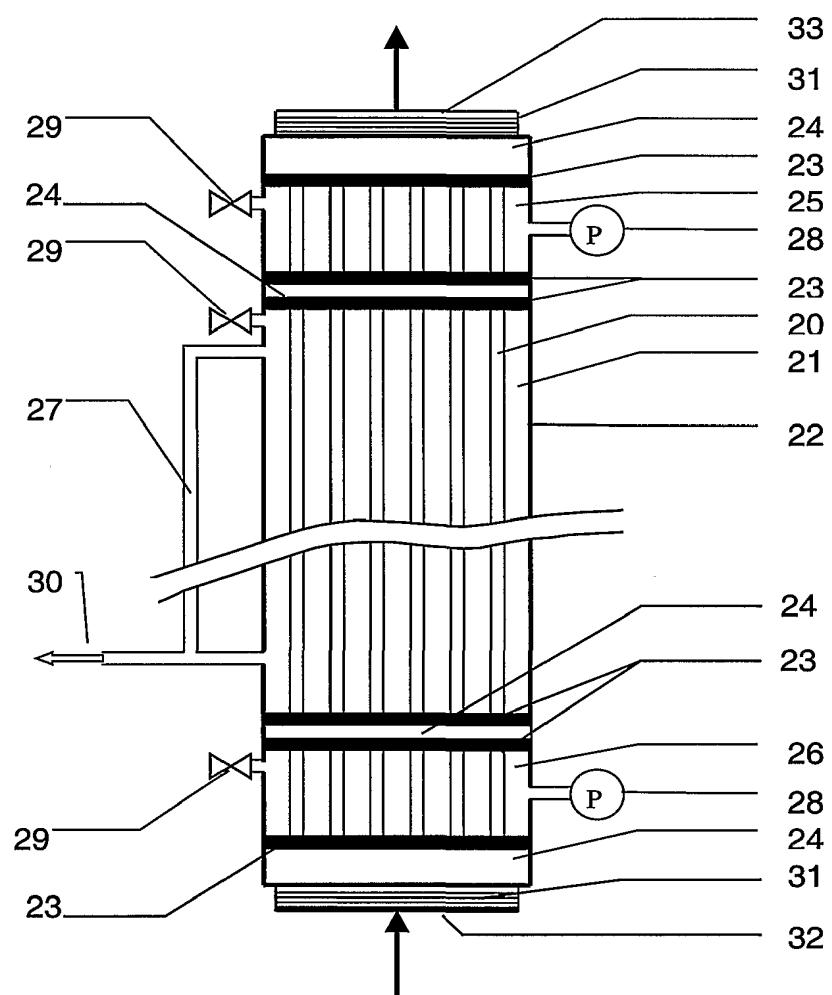
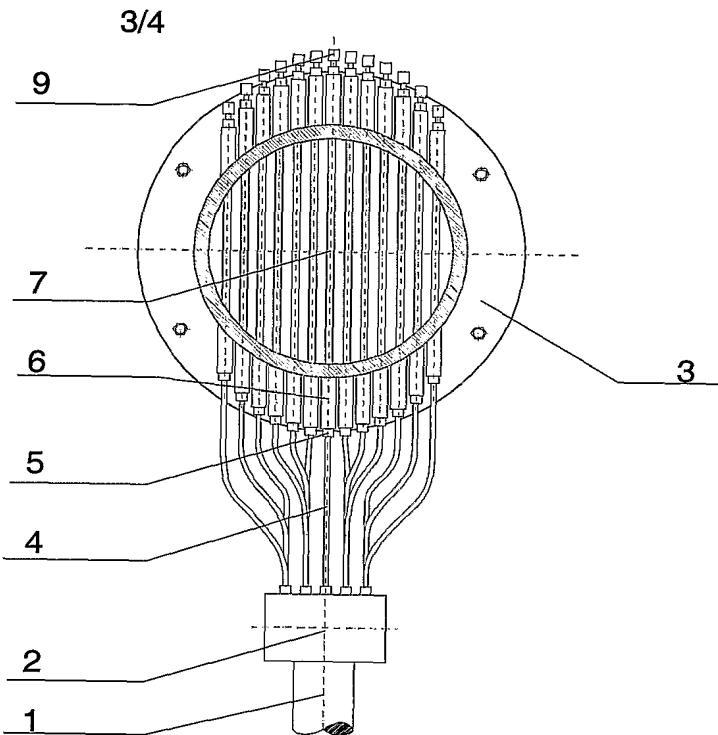
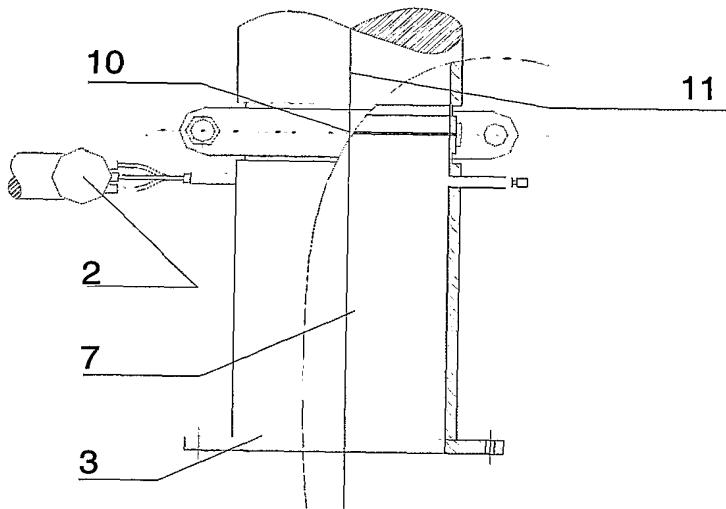
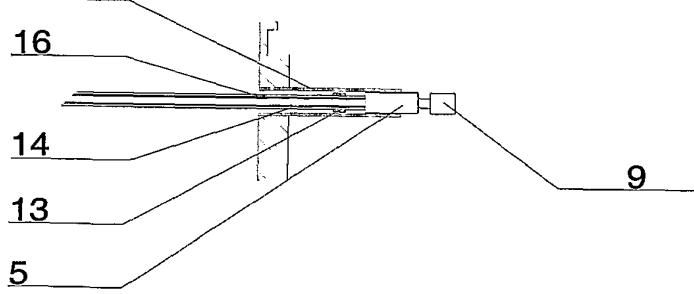
**Fig. 3**

Fig. 4**Fig. 5a****Fig. 5b**

4/4

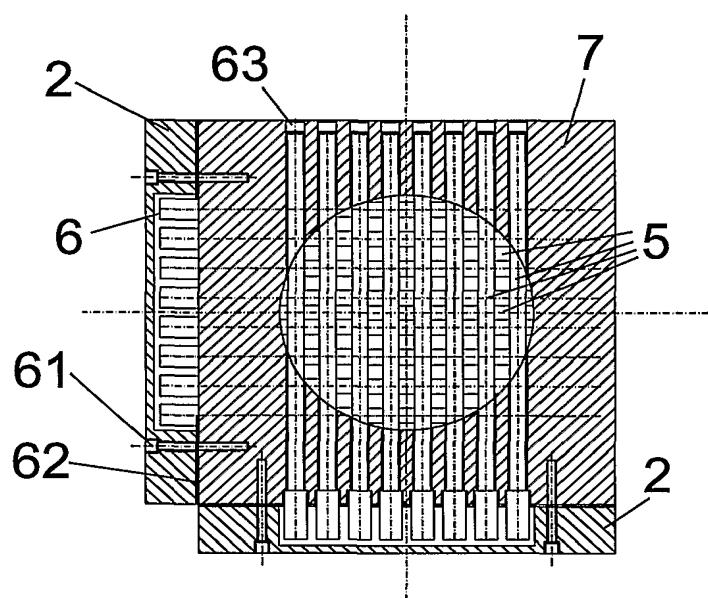


Fig. 6a

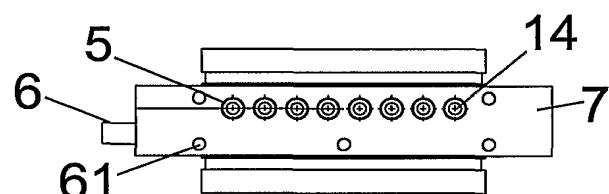


Fig. 6b

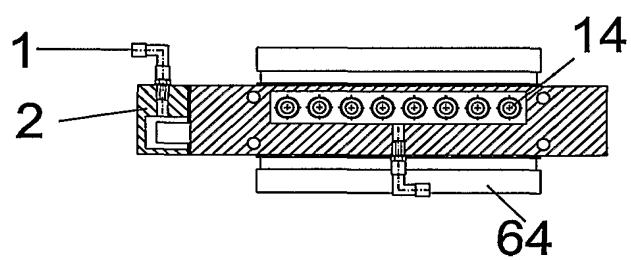


Fig. 6c